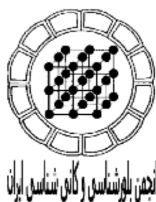
مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال بیست و نهم، شمارهٔ اول، بهار ۱۴۰۰، از صفحهٔ ۹۷ تا ۱۱۰



کانه‌زایی طلا- سولفید و ریزدماسنجی در رگه- رگچه‌های کوارتز منطقه قره‌چای، جنوب تیکمه‌داش، استان آذربایجان شرقی

زهرا حسنی سوقی[*1]، علی‌اصغر کلاگری[1]، قهرمان سهرابی[2]

۱- گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(دریافت مقاله: ۹۹/۱/۱۶، نسخه نهایی: ۹۹/۴/۲)

چکیده: منطقه امیدبخش طلادار در قره‌چای در فاصله حدود ۲ کیلومتری جنوب تیکمه‌داش، استان آذربایجان شرقی، شمال‌غرب ایران واقع است. سنگ‌های میزبان رگه- رگچه‌های کوارتزی طلادار بیشتر آندزیت‌های ائوسن و توده نفوذی فلسی (گرانیت تا قلیایی‌گرانیت) ائوسن پسین- الیگوسن هستند. هاله‌های دگرسانی سنگ‌های دیواره که در پیرامون رگه- رگچه‌ها گسترش یافته‌اند بیشتر از انواع سیلیسی، فیلی، فیلی- رسی و پروپیلیتیک هستند. کانه‌زایی سولفیدی و طلا در منطقه مورد بررسی به صورت رگه- رگچه‌ای، داربستی و پرکننده فضاهای خالی رخ داده است. کانی‌های تیره درونزاد بیشتر پیریت، کالکوپیریت و طلا بوده که با مجموعه کانیایی برونزاد مثل اکسید و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت، جاروسیت و هماتیت)، کربنات‌های مس (مالاکیت و آزوریت) و سولفیدهای ثانویه مس (کوولیت و کالکوسیت) پوشیده شده‌اند. بلورهای کوراتز درون رگه- رگچه‌ها بافت‌های نوعی بِرشی، پوسته‌ای، شانه‌ای و حفره‌ای نشان می‌دهند. براساس نتایج ریزدماسنجی، دمای همگن شدگی و شوری میانبارهای سیال بررسی شده به ترتیب ۲۰۰ تا ۳۴۰ درجه سانتی‌گراد و ۶٫۲ تا ۱۱٫۷ درصد وزنی معادل نمک طعام هستند. یافته‌های میانبارهای سیال همراه با حضور بِرش‌های گرمابی در رگه- رگچه‌های کوارتز نشان می‌دهند که فرآیندهای جوشش و سردشدن ساده همزمان عوامل مهم در نهشت کانی‌های سولفیدی و طلا در قره‌چای بوده‌اند. لیگاندهای کمپلکس‌کننده سولفیدی و کلریدی باهم نقش مهمی در حمل عناصر کانسنگی داشته‌اند. بر اساس یافته‌های میانبارهای سیال، کانی‌شناسی و بافت کانی‌های کانسنگی و باطله در رگه- رگچه‌های کوارتز، می‌توان کانی‌سازی سولفیدی و طلا در قره‌چای را از نوع فراگرمایی سولفیدشدگی پایین در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: *کانه‌زایی طلا- سولفید؛ رگه- رگچه‌های کوارتز؛ سولفیدشدگی پائین؛ ریزدماسنجی؛ فراگرمایی؛ تیکمه‌داش.*

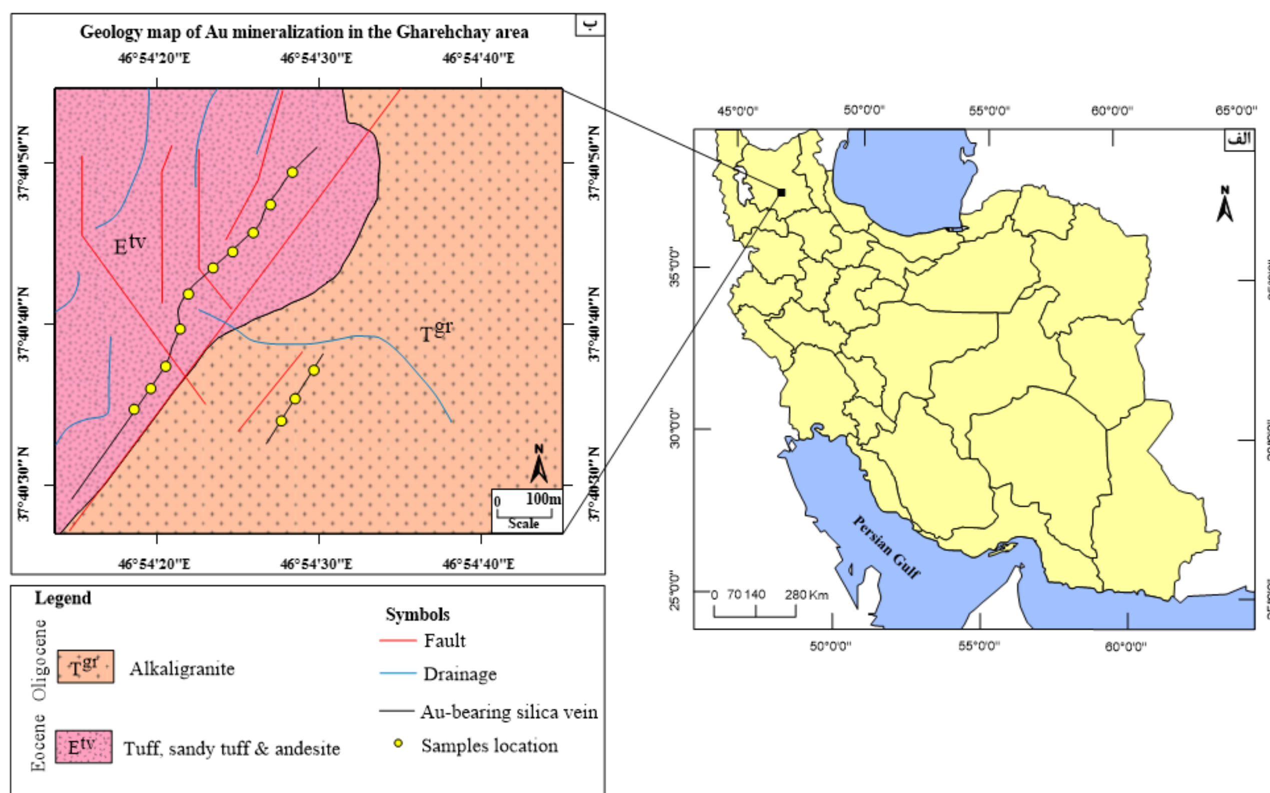
مقدمه

منطقه امیدبخش طلادار در قره‌چای در فاصله حدود ۲ کیلومتری جنوب تیکمه‌داش، استان آذربایجان شرقی، شمال‌غرب ایران (شکل ۱ الف) و در پهنه فلززایی بستان‌آباد- میانه با مختصات عرض جغرافیایی ۳۷°۴۰′۲۵″ تا ۳۷°۴۰′۵۵″ شمالی و طول جغرافیایی ۴۶°۵۴′۱۰″ تا ۴۶°۵۴′۵۰″ شرقی واقع است. این منطقه بر پایه تقسیم‌بندی ساختاری ایران [۱] در پهنه البرز غربی- آذربایجان و از نظر جایگاه زمین‌شناسی در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ بستان‌آباد قرار دارد. منطقه طلادار میانه از شرق شهرستان میانه آغاز شده و تا غرب بستان‌آباد گسترش دارد و از شمال به دامنه شمالی رشته‌کوه بزقوش محدود است. از نظر زمین‌شناسی، بخش عمده منطقه را سنگ‌های آتشفشانی مربوط به زمان ترشیری تشکیل می‌دهد. فاز کوهزایی لارامید فاز مشخص در ناحیه میانه- بستان‌آباد بوده که در پی آن، گسترده‌ترین فعالیت آتشفشانی در نتیجه فاز انبساطی در ائوسن رخ داده و سبب خروج

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۴۷۴۴۸۲۲۶، پست الکترونیکی: z.hassanisoughi@gmail.com

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.7.4]

[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.97]



شکل ۱ الف) موقعیت قره‌چای در ایران، ب) نقشه زمین‌شناسی منطقه قره‌چای که محل و راستای رگه‌های سیلیسی طلادار بر آن نشان داده شده‌اند (برگرفته از مرجع [۲] با تغییرات).

گدازه‌های آتشفشانی از شکاف‌های متعدد شده است. این سنگ‌های آتشفشانی گسترش بسیاری در منطقه دارند و شامل گدازه‌های لاتیت، تراکی‌آندزیت، بازالت، داسیت و ریولیت همراه با سنگ‌های آذر آواری هستند. فعالیت‌های ماگمایی و فاز زمین ساختی پالئوژن پسین (فاصله زمانی بین ائوسن و الیگوسن) با ظهور سنگ‌های آذرین نفوذی مشخص می‌شوند. توده‌های نفوذی وابسته به الیگوسن در بخش شرقی منطقه مورد بررسی گسترش چندانی ندارند، ولی به سمت منطقه‌های کناری در بخش‌های غربی (به ویژه در جنوب بستان‌آباد)، این توده‌ها در سطح گسترده‌ای سنگ‌های آتشفشانی ائوسن را قطع کرده و محلول‌های گرمابی برآمده از آنها باعث دگرسانی و کانه‌زایی‌های سولفیدی و طلا در منطقه شده‌اند. همچنین، گدازه‌های ائوسن توسط یک سری نفوذی‌های نیمه عمیق مثل لاکولیت و یا سیل قطع شده و سنگ‌های میزبان در مرز تماس با آنها دستخوش دگرسانی شده‌اند. این فعالیت‌ها دست کم تا پایان الیگوسن ادامه داشته‌اند. فاز پیرنین از آلپ میانی، این مجموعه را چین داده و باعث ناهمسازی میوسن شده است. در میوسن نیز، سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری به همراه رسوب‌های کم‌ژرفا پدید آمده‌اند. رسوب‌های پلیوسن (شامل مارن‌های گچدار و کنگلومرا) به طور ناهمساز روی میوسن را پوشانده‌اند [۳].

تا کنون، پژوهش‌های بسیاری پیرامون عملکرد محلول‌های فراگرمایی درونزاد در ارتباط با فعالیت‌های ماگمایی در تشکیل پهنه‌های دگرسانی و کانه‌زایی فلزات پایه و قیمتی در منطقه شمال‌غرب ایران انجام شده است [۴-۷]. نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که محلول‌های درونزاد نقش مهمی در تشکیل پهنه‌های دگرسانی و کانه‌زایی فلزات پایه و قیمتی داشته‌اند.

بررسی‌های اولیه بر کانه‌زایی سولفیدی و طلا در منطقه قره‌چای انجام شده است [۸]. بر اساس نتایج این پژوهش، نمونه‌های برداشت شده از رگه‌های سیلیسی موجود در این منطقه، دارای عیار طلا بین ۰٫۰۴ تا ۳٫۲ گرم در تن هستند و کانه‌زایی از نوع فراگرمایی سولفیدشدگی پایین است. در این پژوهش، ویژگی‌های کانی‌شناسی و بافتی رگه- رگچه‌های کوارتزی طلادار و همچنین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سیال-های کانه‌ساز در منطقه قره‌چای بررسی شده است.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.7.4]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.97]

روش بررسی

بررسی‌ها در این پژوهش در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شدند. در بخش صحرایی، بررسی‌های سنگ‌شناسی سنگ‌های منطقه، تشخیص پهنه‌های ساختاری، تعیین جایگاه رگه- رگچه‌های کوارتزی و نمونه‌برداری از سنگ‌های میزبان و پهنه‌های دگرسانی و کانه‌دار (به تعداد ۵۰) صورت گرفت. کارهای آزمایشگاهی شامل تهیه ۵ عدد مقطع نازک (برای بررسی سنگ‌نگاری)، ۷ مقطع نازک- صیقلی (برای بررسی کانه‌نگاری) و ۷ مقطع دوبر صیقلی (برای ریزدماسنجی) در شرکت ریزکاوان منابع زمین زنجان انجام شد. سپس بررسی‌های سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری مقاطع در آزمایشگاه زمین‌شناسی دانشکده علوم پایه دانشگاه محقق اردبیلی انجام گردید. در بررسی سنگ‌نگاری میانبارهای سیال از میکروسکوپ المپوس مدل BX50 با عدسی 100X استفاده شد و سرانجام دو مقطع برای ریزدماسنجی مناسب تشخیص داده شدند. ریزدماسنجی با دستگاه لینکام مدل THMSG600 نصب شده بر میکروسکوپ المپوس در آزمایشگاه گروه زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور مرکز تبریز انجام شد. این سامانه قابلیت تغییر دما از ۶۰۰+ تا ۱۹۰- درجه سانتی‌گراد را داراست. واسنجی دستگاه با استفاده از استانداردهای نیترات سدیم با نقطه ذوب ۳۰۶٫۸+ درجه سانتی‌گراد و تتراکلرید کربن با نقطه ذوب ۲۲٫۹۹- درجه سانتی‌گراد صورت گرفت.

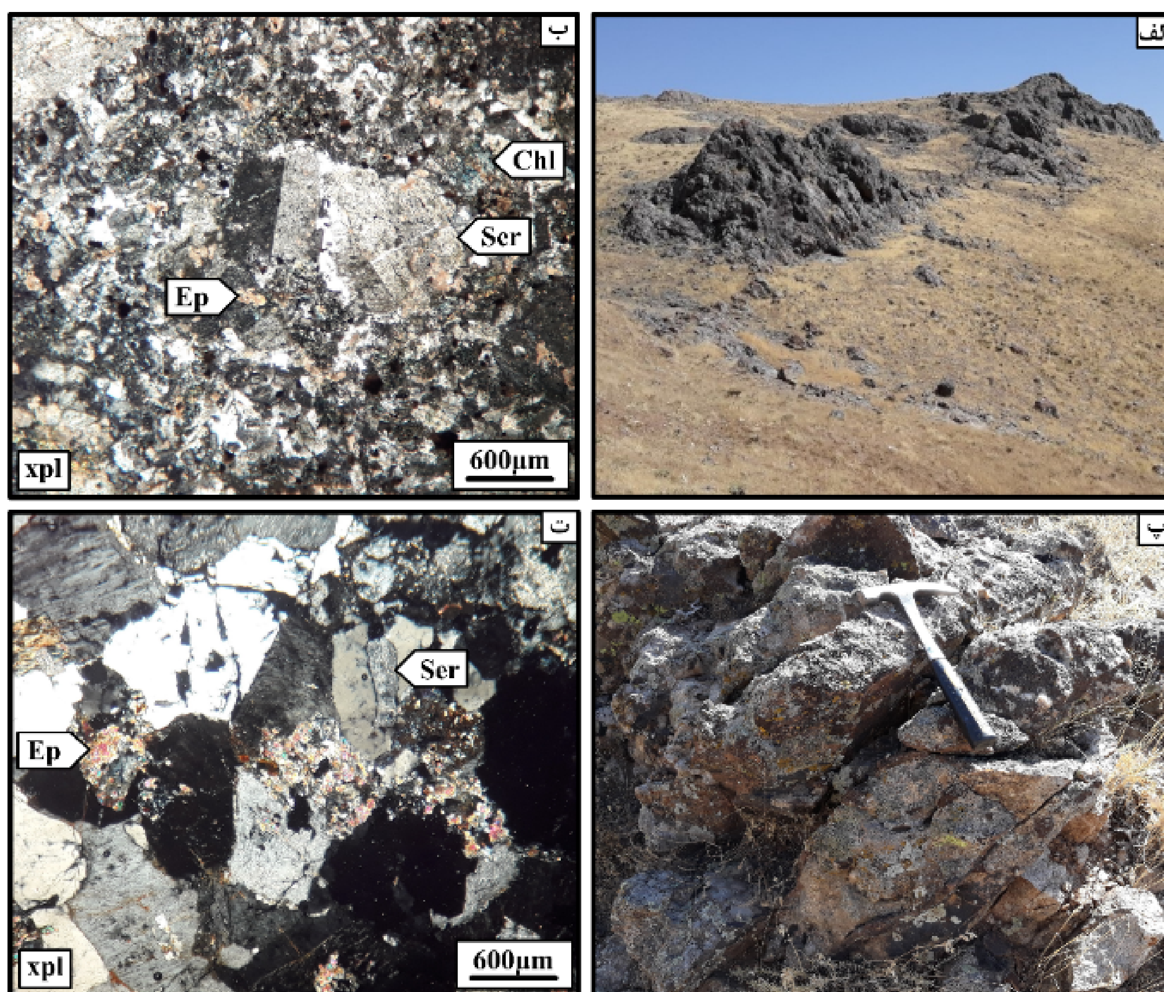
زمین‌شناسی و سنگ‌نگاری

مهمترین واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در منطقه قره‌چای شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی و توده نفوذی هستند که در ادامه توضیح داده می شوند:

سنگ‌های آتشفشانی ائوسن (E^{tv}): این سنگ‌ها گسترش بسیاری در منطقه دارند و بخشی از قدیمی‌ترین واحد سنگی منسوب به ائوسن و شامل سنگ‌های آذرآواری با میان‌لایه‌های گدازه‌ای با ترکیب غالب آندزیتی هستند [۲] (شکل ۱ ب). این سنگ‌ها در سطح برونزدها و نمونه‌های دستی به رنگ خاکستری تا سبز تیره دیده می‌شوند (شکل ۲ الف). در زیر میکروسکوپ، این سنگ‌ها بافت پورفیری در یک زمینه ریزبلوری نشان می‌دهند و شامل کانی‌های اولیه پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی، بیوتیت، آمفیبول، اسفن، آپاتیت و کانی‌های کدر هستند که با مجموعه‌ای از کانی‌های ثانویه مثل سریسیت، کانی‌های رسی، اپیدوت، کلریت، کوارتز و اکسیدهای آهن همراهی می‌شوند. پلاژیوکلازها (بیش از ۷۰٪) بیشتر به صورت درشت بلورهای تخته‌ای هستند و اغلب ماکل‌های چندریخت و چندریخت-کارلسباد نشان می‌دهند. این پلاژیوکلازها بیشتر به‌صورت بخشی به سریسیت، کانی‌های رسی و اپیدوت دگرسان شده‌اند. بلورهای بیوتیت و آمفیبول نیز به صورت پراکنده در زمینه ریزسنگی دیده می‌شوند که بیشتر به کلریت تجزیه شده‌اند (شکل ۲ ب). کانی‌های ثانویه کوارتز، اپیدوت و اکسیدهای آهن بصورت پراکنده و رگچه‌ای دیده می‌شوند. زمینه شامل ریزسنگ‌های بیشتر پلاژیوکلاز به همراه مقدار کمی فلدسپارقلیایی است. فلدسپارها در زمینه نیز بطور بخشی به سریسیت، کانی‌های رسی و اپیدوت دگرسان شده‌اند. بر اساس بررسی کانی‌شناسی و بافت می‌توان این سنگ‌ها را از نظر ترکیبی در حد آندزیت پورفیری در نظر گرفت.

واحد توده نفوذی (T^{gr}): این واحد سنگی نیز در منطقه مورد بررسی گسترش بالایی دارد (شکل ۱ ب) و به درون واحد آتشفشانی ائوسن نفوذ کرده است. این واحد از نظر سنی وابسته به ائوسن پسین- الیگوسن است [۲] و در بخش‌های جنوبی منطقه برونزد دارد (شکل ۲ پ). این سنگ‌ها در نمونه دستی به رنگ سفید تا خاکستری روشن بوده و شامل درشت بلورهای کوارتز و فلدسپار هستند. مقاطع این سنگ در زیر میکروسکوپ دارای کانی‌های اولیه کوارتز، فلدسپار قلیایی، پلاژیوکلاز، بیوتیت، اسفن و آپاتیت با بافت دانه‌ای هستند که توسط کانی‌های ثانویه سریسیت، کانی‌های رسی، اپیدوت، پیروفیلیت و اکسیدهای آهن همراهی می‌شوند. بلورهای کوارتز (۳۰-۲۵٪) بیشتر به صورت بلورهای ریز تا متوسط و بی‌شکل حضور دارند. فلدسپارهای قلیایی (۴۵-۴۰٪) به صورت بلورهای ریز تا متوسط و بی‌شکل با ماکل کارلسباد هستند و بیشتر به سریسیت و کانی‌های رسی تجزیه شده‌اند (شکل ۲ ت) و برخی بافت پرتیتی نشان می‌دهند. پلاژیوکلازها نیز بصورت بلورهای ریز تا متوسط و تخته‌ای‌شکل با ماکل چندریخت و چندریخت-کارلسباد هستند و بیشتر توسط سریسیت، کانی‌های رسی و گاهی اپیدوت جانشین شده‌اند (شکل ۲ ت). کانی‌های فرعی شامل اسفن (به صورت بلورهای لوزی‌شکل) و آپاتیت (به صورت ریزبلورهای منشوری‌شکل درون فلدسپارها) هستند. بر اساس ترکیب مودال کانی‌های تشکیل‌دهنده و بافت آنها می‌توان این سنگ‌ها را از نظر ترکیبی در گستره گرانیت تا گرانیت قلیایی در نظر گرفت.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.7.4]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.97]



شکل ۲ تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از واحدهای سنگی منطقه قره‌چای: الف) نمایی از رخنمون واحد آندزیت پورفیری، ب) کانی کلریت ناشی از تجزیه کانی‌های فرومنیزین و همچنین دگرسانی بخشی پلاژیوکلاز به سریسیت، کانی‌های رسی و اپیدوت در واحد آندزیتی، پ) رخنمون صحرایی از واحد گرانیت- گرانیت قلیایی، ت) دگرسانی بخشی فلدسپارها به سریسیت و اپیدوت در واحد سنگی گرانیت- گرانیت قلیایی. نام اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۹] است. (Chl: کلریت، Ser: سریسیت و Ep: اپیدوت)

دگرسانی و کانی‌سازی

بر پایه بازدیدهای صحرایی و بررسی‌های آزمایشگاهی، دگرسانی‌ها و کانه‌زایی‌های مربوط با آنها در منطقه قره‌چای طی فرآیندهای درونزاد و برونزاد رخ داده‌اند.

دگرسانی‌های درونزاد

پهنه‌های دگرسانی درونزاد در قره‌چای فراگیر نیستند و بیشتر به اطراف و لبه‌های دیواره رگه- رگچه‌ها و پهنه‌های کانه‌دار محدود بوده و در کل، شامل انواع سیلیسی، فیلی، فیلی- آرژیلیک رسی و پروپیلیتی هستند. دگرسانی سیلیسی در سنگ‌های گرانیتی و آندزیتی، دگرسانی پروپیلیتی در واحد آندزیتی و دگرسانی‌های فیلی و آرژیلیک رسی بیشتر در واحد گرانیتی رخ داده‌اند. دگرسانی‌های سیلیسی و پروپیلیتی در سطح رخنمون‌ها نمایان هستند، در حالیکه دگرسانی‌های فیلی و آرژیلی رسی براحتی در سطح برونزدها قابل تشخیص نیستند و با بررسیهای میکروسکوپی صورت گرفته شناسایی شده‌اند.

دگرسانی سیلیسی: پهنه‌های دربردارنده دگرسانی سیلیسی در لبه رگه‌های سیلیسی کانه‌دار دیده می‌شوند و میزبان اصلی کانی‌سازی سولفیدی و طلا در منطقه هستند. این دگرسانی در منطقه به تدریج به دگرسانی سریسیتی تبدیل می‌شود. پهنه دگرسانی سیلیسی در منطقه اهمیت بسیاری دارد و شامل رگچه- ریزرگچه‌های فراوان است (شکل ۳ الف). بخش‌های دربردارنده این دگرسانی به علت مقاومت در برابر هوازدگی از

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.7.4]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.97]

نظر مکان نگاری بصورت برونزدهای برجسته و خشن نسبت به سایر بخش‌ها دیده می‌شوند. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی، کوارتز و آدولاریا به عنوان کانی‌های اصلی در این پهنه حضور دارند. کوارتز در این رگچه‌ها به صورت بلورهای ریز تا درشت شکل‌دار تا بی‌شکل است. آدولاریا نیز به صورت جانشینی بر کانی‌های اولیه سنگ و یا همراه با کوارتز درون رگچه‌های سیلیسی دیده می‌شود.

دگرسانی فیلی یا سریسیتی: بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی، کانی‌های مهم این پهنه سریسیت، کوارتز، پیروفیلیت و پیریت هستند. سریسیت به صورت پولک‌های بسیار ریز و بیشتر ناشی از دگرسانی فلدسپارها در این پهنه حضور دارد. گاهی مقدار کمی کانی‌های رسی مجموعه کانیایی این پهنه را همراهی می‌کنند.

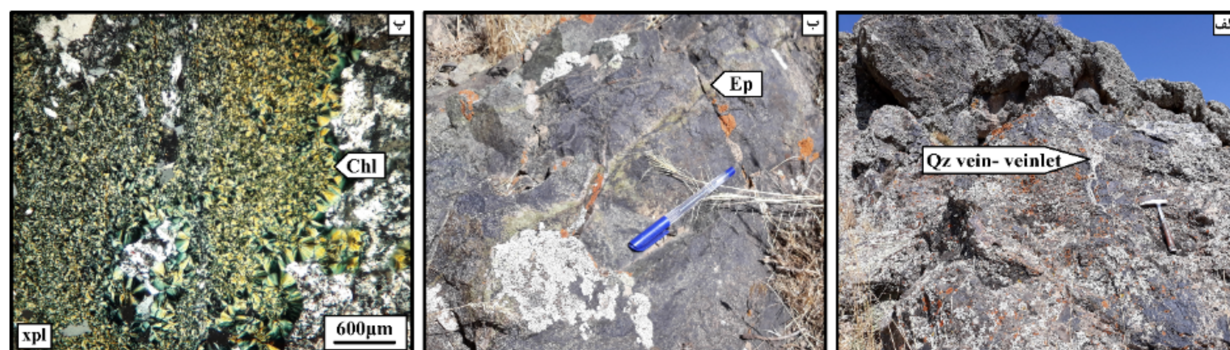
دگرسانی فیلی- آرژیلی رسی: این نوع دگرسانی بیشتر در سنگ‌های گرانیتی و پیرامون رگه‌های سیلیسی دیده می‌شود. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی، در این پهنه دگرسانی مقداری پیروفیلیت و کانی‌های رسی افزون بر مجموعه کانیایی نوعی پهنه فیلی دیده می‌شوند. کانی‌های رسی و پیروفیلیت جانشین کانی‌های اولیه سنگ مانند فلدسپارها شده‌اند.

دگرسانی پروپیلیتی: این پهنه دگرسانی نسبت به دگرسانی سیلیسی گسترش محدودی دارد و در فاصله دورتری از رگه‌های سیلیسی کانه‌دار تشکیل شده است. این نوع دگرسانی به رنگ سبز و بیشتر در سنگ‌های آندزیتی منطقه دیده می‌شود. کلریت و اپیدوت مهمترین کانی‌های دگرسان موجود در این پهنه هستند. اپیدوت به صورت رگچه‌ای (شکل ۳ ب)، پراکنده و جانشینی (انتخابی و فراگیر) کانی‌های سیلیکاتی اولیه (پلاژیوکلاز) سنگ دیده می‌شود. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی، بلورهای اپیدوت در داخل حفره‌ها و فضاهای خالی به صورت بلورهای خودشکل مشاهده می‌شوند. کلریت به رنگ‌های سبز و سبز مایل به آبی بصورت جانشینی بر کانی‌های سیلیکاتی اولیه سنگ (بیوتیت و آمفیبول) و همچنین بصورت رگچه‌ای درون شکستگی‌ها تشکیل شده است. در شکستگی‌ها و فضاهای خالی، کلریت به صورت بلورهای خودشکل با بافت شعاعی دیده می‌شود (شکل ۳ پ).

کانی‌سازی درونزاد

بر اساس شواهد صحرایی و یافته‌های سنگ‌نگاری، کانه‌زایی درونزاد در منطقه قره‌چای بیشتر بصورت رگه- رگچه‌ای، داربستی و پرکننده فضاهای خالی رخ داده است که از جمله ویژگی‌های ذخایر فراگرمایی سولفیدشدگی پایین به شمار می‌روند [۱۰، ۱۱]. رگه- رگچه‌های موجود در این منطقه را می‌توان از نظر محتوای کانیایی، چگونگی تقاطع آنها و همبری که نشان دهنده تغییر ترکیب محلول‌های گرمابی درونزاد با زمان هستند، به سه گروه تقسیم نمود که به ترتیب زمانی عبارتند از رگه- رگچه‌های سیلیسی مرحله پیشین، رگه- رگچه‌های سیلیسی مرحله پسین و رگچه‌های کلسیتی. این سه گروه در ادامه توضیح داده می‌شوند.

رگه- رگچه‌های سیلیسی مرحله پیشین به طور نیمه پیوسته طولی بین ۵۰ تا ۲۵۰ متر، ضخامت ۲ تا ۱۰ متر، شیب ۷۵ تا حدود ۹۰ درجه و راستای تقریبی شمال‌غربی- جنوب‌شرقی (همراستا با گسل تبریز) دارند. بلورهای کوارتز در این رگه- رگچه‌ها ریزدانه و به رنگ خاکستری تیره هستند، بافت متراکم و توده‌ای دارند و تقریباً بدون کانی‌های سولفیدی و طلا هستند.

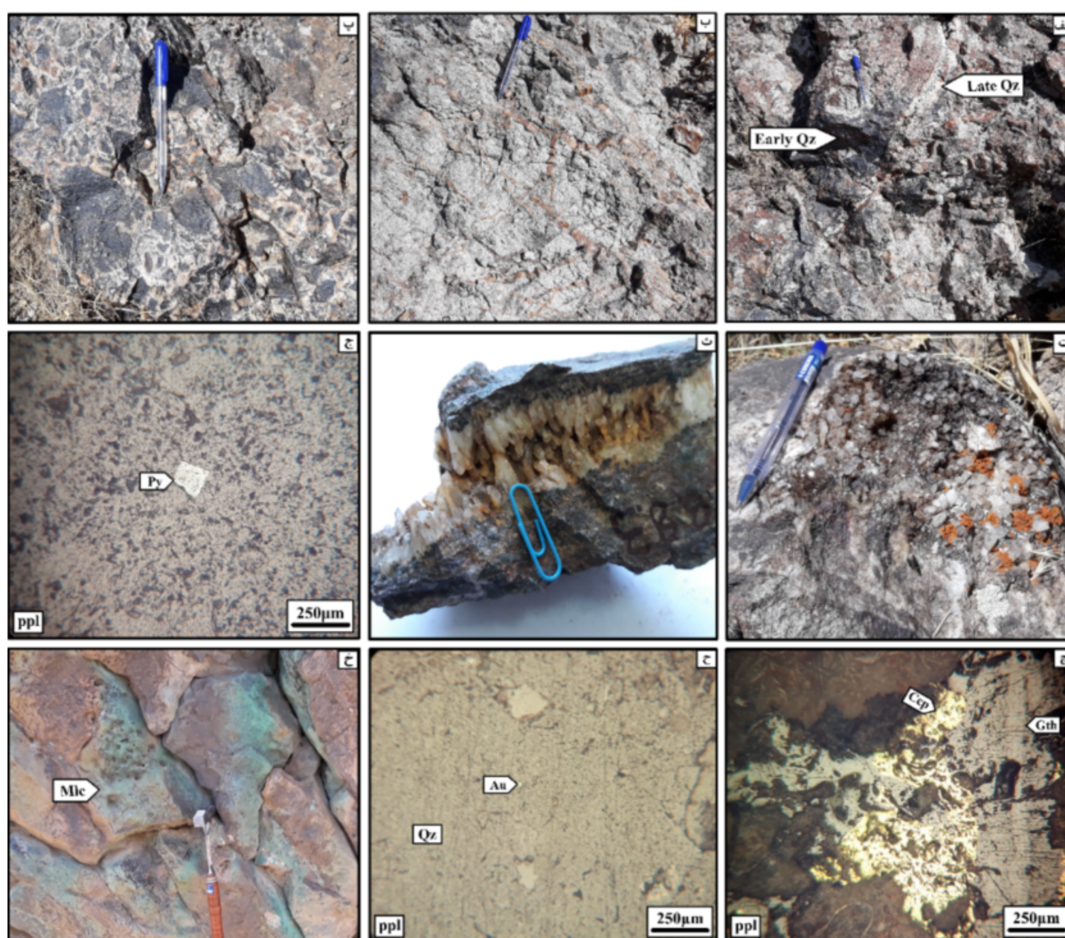


شکل ۳ تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از پهنه‌های دگرسانی در منطقه قره‌چای: الف) برونزد صحرایی از دگرسانی سیلیسی، ب) نمایی از رگچه‌های اپیدوتی موجود در واحد آندزیتی در رخنمون صحرایی و پ) کلریت‌های سبز رنگ با بافت شعاعی که پیامد دگرسانی کانی‌های فرومنیزین موجود در واحد آندزیتی هستند. نام اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۹] است. (Qz: کوارتز، Ep: اپیدوت و Chl: کلریت).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.7.4]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.97]

رگه- رگچه‌های سیلیسی مرحله پسین نیز بطور نیمه پیوسته دارای طول ۱۰ تا ۲۰۰ متر، ضخامت ۱۰ سانتی‌متر تا ۵ متر، شیب ۷۰ تا حدود ۹۰درجه و راستای تقریبی شمال‌شرقی- جنوب‌غربی (متقاطع با راستای گسل تبریز) هستند. این رگه- رگچه‌ها دارای رنگ روشن تا شیری هستند و اغلب رگه- رگچه‌های سیلیسی مرحله پیشین را قطع نموده (شکل ۴ الف) و برخی ساخت داربستی از خود نشان می‌دهند (شکل ۴ ب). بلورهای کوارتز در این رگه- رگچه‌ها بافت‌های آواری بِرشی (شکل ۴ پ)، پرکننده فضای خالی (شکل ۴ ت)، پوسته‌ای، شانه‌ای (شکل ۴ ث) و حفره‌ای دارند که از ویژگی‌های ذخایر فراگرمایی هستند [۱۲، ۱۳]. کوارتز در این رگه- رگچه‌ها بصورت بلورهای ریز تا درشت ظاهر شده و توسط کانی‌های سولفیدی (پیریت و کالکوپیریت) و طلا همراهی می‌شود.

رگچه- ریزرگچه‌های کلسیتی از آنجا که رگه- رگچه‌های سیلیسی (مراحل پیشین و پسین) را قطع کرده‌اند، می‌توان گفت که از نظر زمانی نسبت به آنها تأخیری هستند. این رگچه‌ها در کل، بدون کانه‌زایی سولفیدی و طلا هستند و اغلب در نتیجه آغشتگی به محلول‌های مس‌دار برآمده از آبشویی کانی‌های سولفیدی به کانی‌های کربناتی مس (مالاکیت و آزوریت) تبدیل شده‌اند.



شکل ۴ تصاویر صحرایی، مزوسکوپی و میکروسکوپی از کانی‌سازی در منطقه قره‌چای: الف) قطع‌شدگی رگه- رگچه‌های سیلیسی مرحله پیشین توسط رگه- رگچه‌های سیلیس مرحله پسین در واحد گرانیت قلیایی، ب) ساخت داربستی در رگه- رگچه‌های سیلیسی مرحله پسین در واحد گرانیت قلیایی، پ) رخنمونی از بِرشی شدن رگه‌های سیلیسی که در آن قطعه‌هایی از سیلیس‌های مرحله پیشین (تیره رنگ) درون سیلیس‌های مرحله پسین (رنگ روشن) حضور دارند، ت) بلورهای کوارتز مرحله پسین با بافت پرکننده فضای خالی، ث) سیلیس‌های مرحله پسین با بافت شانه‌ای، ج) بلور منفرد پیریت شکل‌دار، چ) کالکوپیریت که توسط گوتیت جانشین شده است، ح) حضور ذره کوچک مشکوک به طلا در بلورهای کوارتز مرحله پسین و خ) کانی‌سازی مالاکیت در سطح شکستگی‌های سنگ. نام اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۹] است. (Qz: کوارتز، Py: پیریت، Ccp: کالکوپیریت، Gth: گوتیت و Mlc: مالاکیت).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.7.4]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.97]

بر اساس محتوای کانیایی (چه کانسنگی و چه باطله) رگه- رگچه‌ها و گسترش پهنه‌های دگرسانی، در کل می‌توان سه دوره برای فعالیت محلول‌های گرمابی درونزاد کانه‌ساز در منطقه قره‌چای در نظر گرفت که در ادامه بیان می‌شوند.

دوره اول (I): در این دوره، بیشتر رگه- رگچه‌های سیلیسی مرحله پیشین در سنگ‌های میزبان (توده نفوذی و آتشفشانی) گسترش یافته‌اند که همراه با تشکیل هاله‌های دگرسانی سیلیسی در سنگ‌های دیواره این رگه- رگچه‌ها بوده است. در ظاهر، کانه‌سازی سولفیدی و طلا در این مرحله رخ نداده است.

دوره دوم (II): فعالیت‌های گرمابی در این دوره به صورت تشکیل رگه- رگچه‌های سیلیسی مرحله پسین و گسترش پهنه‌های دگرسانی فیلی، آرژیلی رسی و پروپیلیتی هستند. کانه‌زایی سولفیدی (پیریت و کالکوپیریت) و طلا در این دوره رخ داده است (شکل‌های ۴ ج تا ح).

دوره سوم (III): فعالیت‌های گرمابی در این دوره منجر به تشکیل رگچه- ریزرگچه‌های کلسیتی شده و در ظاهر هاله‌های دگرسانی در دیواره این رگچه‌ها شکل نگرفته‌اند. فعالیت‌های گرمابی در این دوره فقط نهشت کانی‌های کربناتی (کلیست) درون شکستگی‌ها را در پی داشته‌اند و منجر به تشکیل کانی‌های کوارتز، سولفیدی و طلا نشده‌اند.

فرآیندهای برونزاد

فرآیندهای دگرسانی و کانه‌زایی برونزاد در قره‌چای در اثر واکنش محلول‌های فرورو جوی با کانی‌های سولفیدی درونزاد رخ داده‌اند. از مهمترین کانی‌های ثانویه برونزاد در این منطقه می‌توان به اکسید و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت، جاروسیت و هماتیت)، کربنات‌های مس (مالاکیت و آزوریت)؛ (شکل ۴ خ) و سولفیدهای ثانویه مس (کوولیت و کالکوسیت) اشاره کرد که مجموعه کانی‌های پهنه‌های دگرسانی و کانه‌زایی درونزاد را پوشش داده‌اند.

توالی همبری کانیایی منطقه قره‌چای با توجه به بررسی‌های صحرایی، مزوسکوپی، میکروسکوپی و بر پایه روابط میان کانی‌های فلزی (سولفیدی و طلا) و باطله‌ای که توسط فعالیت محلول‌های آبگین درونزاد و برونزاد تشکیل شده‌اند در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱ توالی همبری کانی‌های روشن و تیره در پهنه‌های دگرسانی و کانه‌زایی درونزاد و برونزاد در قره‌چای.

کانی‌های کانسنگی و باطله	فعالیت محلول‌های گرمابی درونزاد			فرآیندهای برونزاد
	دوره اول (I)	دوره دوم (II)	دوره سوم (III)	
کوارتز	◆	◆		
سریسیت		◆		
کلریت		◆		
اپیدوت		◆		
کانی‌های رسی		◆		
پیروفیلیت		◆		
آدولاریا		◆		
کلسیت			◆	
پیریت		◆		
کالکوپیریت		◆		
طلا		◆		
گوتیت				◆
هماتیت				◆
جاروسیت				◆
مالاکیت				◆
آزوریت				◆
کالکوسیت				◆
کوولیت				◆

بررسی میانبارهای سیال

تاکنون چند پژوهش پیرامون ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی محلول‌های گرمابی با بررسی‌های ریزدماسنجی میانبارهای سیال درون رگه- رگچه‌های سیلیسی وابسته به کانه‌زایی در ناحیه شمال‌غرب کشور انجام شده‌اند [۶، ۷، ۱۴]. یافته‌های ریزدماسنجی میانبارهای سیال در این پژوهش‌ها نشان‌دهنده مقدار شوری و دمای همگنی پایین تا متوسط برای سیال‌های کانه‌ساز است.

برای مشخص کردن شرایط فیزیکوشیمیایی محلول‌های گرمابی کانه‌ساز در قره‌چای نیز ریزدماسنجی بر میانبارهای سیال درون بلورهای کوارتز در رگه- رگچه‌های سیلیسی انجام شد. بررسی‌های سنگ‌نگاری برای هفت مقطع دوبر صیقل انجام شد و سرانجام فقط دو مقطع مربوط به رگه- رگچه‌های سیلیسی مرحله پسین و وابسته به کانه‌زایی سولفیدی و طلا برای ریزدماسنجی مناسب تشخیص داده شدند.

سنگ‌نگاری

میانبارهای سیال در مقاطع مورد بررسی دارای شکل نامنظم و بی‌شکل، کشیده، نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار و یا شکل‌های منفی- بلورین هستند (شکل‌های ۵ الف تا پ). فراوانی میانبارهای سیال در نمونه‌های مختلف قره‌چای متفاوت است و در برخی از نمونه‌ها، تعداد زیادی از آنها وجود دارند. ابعاد میانبارهای سیال بررسی شده در نمونه‌های منطقه قره‌چای کمتر از ۵ تا ۳۵ میکرون است و بیشتر آنها بزرگتر از ۲۰ میکرون هستند. از نظر همبری، میانبارهای سیال در قره‌چای بیشتر از انواع اولیه (P) و ثانویه (S؛ شکل ۵ ت) هستند و نوع ثانویه دروغین دیده نشد. ریزدماسنجی بیشتر بر نمونه‌های اولیه انجام شد. پدیده باریک‌شدگی در میانبارهای سیال هم اولیه و هم ثانویه دیده شد (شکل ۵ ث). بر پایه بررسی‌های سنگ‌نگاری، میانبارهای سیال موجود در نمونه‌های بررسی شده را می‌توان بر اساس سازای فازهای اصلی به ترتیب فراوانی در سه دسته رده‌بندی نمود که در ادامه توضیح داده می‌شود.

۱- دوفازی غنی از مایع (L+V): این نوع میانبارهای سیال به شکل‌های اولیه و ثانویه در بیشتر مقاطع دیده شده‌اند. در این نوع میانبارهای سیال، فاز غالب مایع است که بیش از حدود ۸۰ درصد حجم میانبارهای سیال را اشغال می‌کند. پدیده باریک‌شدگی بیشتر در این نوع سیال‌ها دیده می‌شود. اغلب آن‌ها به صورت کروی، پهن، کشیده، بیضوی و نامنظم بوده و تعداد کمی از آنها نیز دارای شکل‌های منفی‌بلورین، مثلثی، چندضلعی، مربع و مستطیلی هستند. اندازه این نوع میانبارهای سیال در گستره کمتر از ۵ میکرون تا ۳۵ میکرون است، اما بیشتر آنها ۱۰ تا ۲۰ میکرون هستند (شکل‌های ۵ الف تا پ).

۲- تک‌فازی گاز (V): این نوع سیال‌ها بیشتر از نوع اولیه هستند. در این نوع از میانبارهای سیال، فاز غالب بخار است که بیش از ۹۵ درصد حجم آنها را اشغال می‌کند (شکل ۵ ج). اندازه این نوع از میانبارهای سیال در گستره کمتر از ۵ میکرون تا ۲۰ میکرون متغیر است و اغلب به شکل کروی و پهن و کمتر به صورت کشیده و بیضوی دیده می‌شوند.

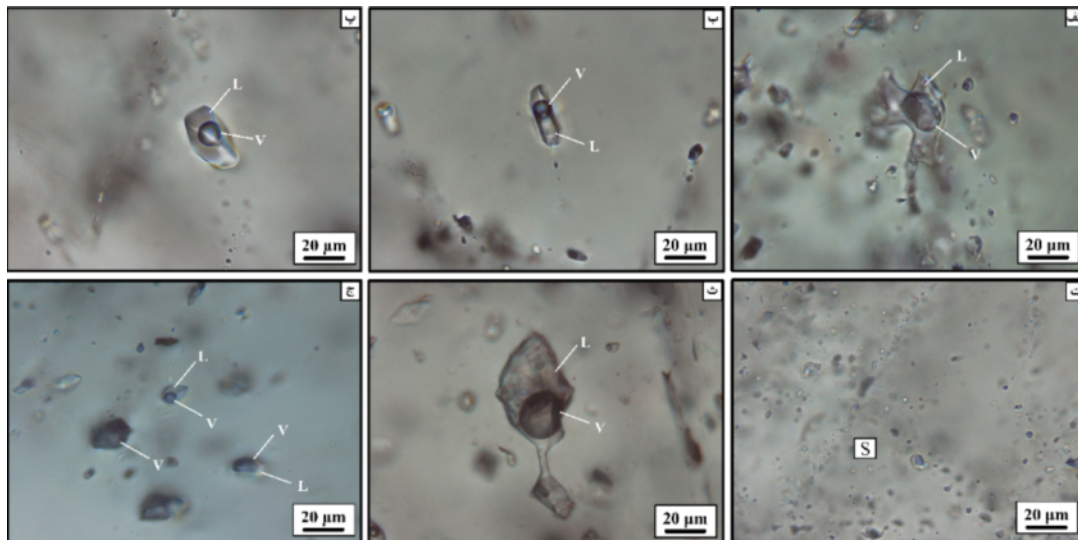
۳- دوفازی غنی از گاز (V+L): این میانبارهای سیال از فراوانی کمتری نسبت به نوع نخست برخوردارند و اغلب دارای شکل‌های پهن، کروی و بیضوی هستند. در این نوع، حباب گاز حجم غالب میانبارهای سیال را تشکیل داده بطوریکه بیش از حدود ۷۰ درصد حجمی آنها را اشغال می‌کند. اندازه آنها در گستره کمتر از ۵ میکرون تا ۱۰ میکرون متغیر است (شکل ۵ ج). همراهی این نوع میانبارهای سیال با انواع دوفازی غنی از مایع و تک‌فازی گاز (شکل ۵ ج) می‌تواند بیانگر رخداد جوشش سیال کانه‌ساز باشد [۱۵، ۱۶].

آنالیز ریزدماسنجی

ریزدماسنجی برای میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع در دو مرحله سرمایش و گرمایش انجام شد. طی فرآیند سرمایش، میانبارهای سیال در گستره دمایی ۸۰- تا ۹۰- درجه سانتی‌گراد به سرعت منجمد (ابر سرد) شد. سپس، دما افزایش یافت تا نخستین نقطه ذوب یخ (Te) مشخص شود که این دما نشانگر نوع نمک‌های موجود در سیال است. در بیشتر میانبارهای سیال بررسی شده، نقطه همگدازی (Te) حدود ۲۱- درجه سانتی‌گراد بدست آمد که با سامانه H_2O-NaCl همخوانی دارد. از این رو می‌توان گفت که NaCl نمک غالب در میانبارهای سیال است [۱۷] و نمک‌های دیگر به اندازه کافی حضور نداشته‌اند. سپس با افزایش دما، یخ‌های موجود در میانبار سیال ذوب شده و دمای ذوب آخرین قطعه بلور یخ (Tm_{ice}) در آنها مشخص شد. بر اساس مقادیر Tm_{ice}، شوری میانبارهای سیال برحسب درصد وزنی محاسبه گردید. طی گرمایش، همه میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع به فاز مایع همگن شدند و دمای همگنی (T_h) آنها تعیین گردید. یافته‌های دو مرحله سرمایش و گرمایش در جدول ۲ ارائه شده‌اند. دیده می‌شود که دمای همگنی میانبارهای سیال بررسی شده در گستره ۲۰۰ تا ۳۴۰ درجه سانتی‌گراد متغیر بوده اما بیشترین فراوانی‌ها مربوط به گستره دمایی ۲۴۰ تا ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۶ الف). مقدار شوری‌های

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.7.4]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.97]

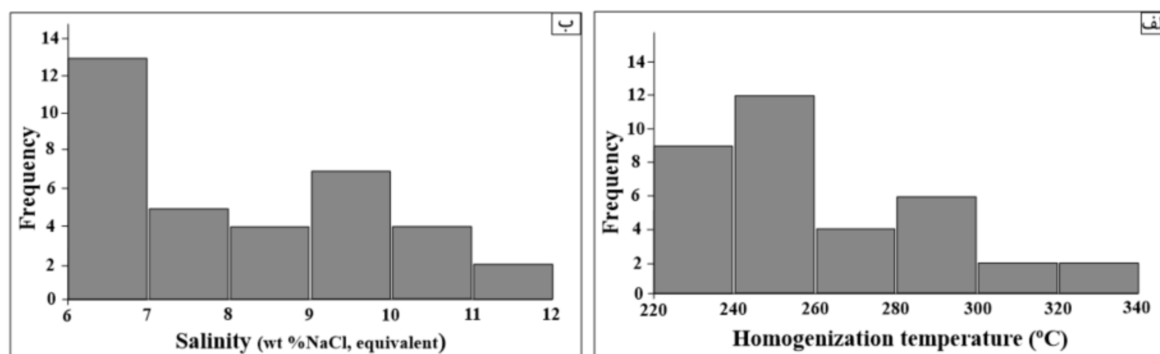
محاسبه شده بر اساس مقادیر Tm_{ice} [۱۸] در گستره ۶٫۲ تا ۱۱٫۷ درصد وزنی معادل نمک طعام بوده (جدول ۲)، هر چند بیشترین فراوانی مربوط به شوری‌های بین ۶ تا ۷ درصد وزنی معادل نمک طعام است (شکل ۶ ب).



شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی از میانبارهای سیال در بلورهای کوارتز منطقه قره‌چای: الف) میانبار سیال دوفازی غنی از مایع با شکل نامنظم، ب) میانبار سیال دوفازی غنی از مایع با شکل کشیده، پ) میانبار سیال دوفازی غنی از مایع بیضوی شکل، ت) میانبارهای سیال ثانویه که مانند دانه‌های تسبیح پشت سر هم ردیف شده‌اند، ث) میانبار سیالی که دچار دم‌بریدگی شده است و ج) حضور همزمان میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع، تک‌فازی گاز و دوفازی غنی از گاز.

جدول ۲ یافته‌های ریزدماسنجی میانبارهای سیال در منطقه قره‌چای.

شماره نمونه	فازها	Tm_{ice} (°C)	$T_{H (L-V)}$ (°C)	wt% NaCl
B.4.4	L+V	-۳٫۸	۲۶۷	۶٫۲
B.4.4	L+V	-۷٫۱	۲۸۳	۱۰٫۶
B.4.4	L+V	-۴٫۵	۲۸۱	۷٫۲
B.4.4	L+V	-۶٫۸	۲۹۶	۱۰٫۲
B.4.4	L+V	-۴	۳۲۶	۶٫۵
B.4.4	L+V	-۴٫۱	۳۱۸	۶٫۶
B.4.4	L+V	-۸	۲۸۶	۱۱٫۷
B.4.4	L+V	-۵٫۹	۲۴۱	۹٫۱
B.4.4	L+V	-۷٫۳	۲۵۵	۱۰٫۹
B.4.4	L+V	-۴	۲۶۰	۶٫۵
B.1.7	L+V	-۵٫۲	۲۷۲	۸٫۱
B.1.7	L+V	-۵	۳۳۸	۷٫۹
B.1.7	L+V	-۵٫۴	۲۵۲	۸٫۴
B.1.7	L+V	-۴٫۶	۲۶۷	۷٫۳
B.1.7	L+V	-۳٫۹	۳۰۶	۶٫۳
B.1.7	L+V	-۳٫۸	۲۲۸	۶٫۲
B.1.7	L+V	-۴٫۱	۲۲۶	۶٫۶
B.1.7	L+V	-۷٫۶	۲۲۰	۱۱٫۲
B.1.7	L+V	-۶٫۱	۲۵۱	۹٫۳
B.1.7	L+V	-۷٫۲	۲۵۶	۱۰٫۷
B.1.7	L+V	-۶٫۳	۲۲۲	۹٫۶
B.1.7	L+V	-۶٫۲	۲۲۰	۹٫۵
B.1.7	L+V	-۶	۲۲۱	۹٫۲
B.1.7	L+V	-۶٫۵	۲۲۰	۹٫۹
B.1.7	L+V	-۳٫۷	۲۶۵	۶
B.1.7	L+V	-۳٫۹	۲۸۳	۶٫۳
B.1.7	L+V	-۵٫۱	۲۵۵	۸
B.1.7	L+V	-۵٫۳	۲۴۱	۸٫۳
B.1.7	L+V	-۶٫۲	۲۴۲	۹٫۵
B.1.7	L+V	-۵٫۵	۲۸۶	۸٫۶
B.1.7	L+V	-۴٫۲	۲۵۳	۶٫۷
B.1.7	L+V	-۴٫۴	۲۴۲	۷
B.1.7	L+V	-۴	۲۳۲	۶٫۵
B.1.7	L+V	-۴٫۵	۲۵۲	۷٫۲
B.1.7	L+V	-۴٫۱	۲۳۵	۶٫۶



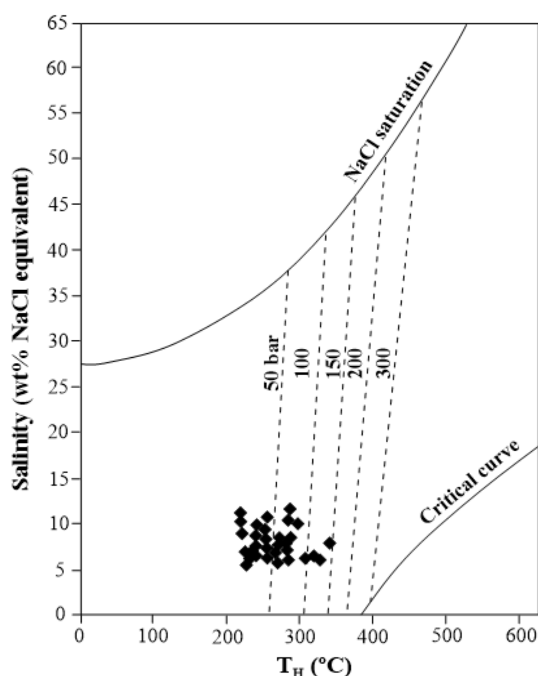
شکل ۶ الف) نمودارهای ستونی دمای همگن شدگی و ب) شوری میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع نسبت به فراوانی آنها.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.7.4]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.97]

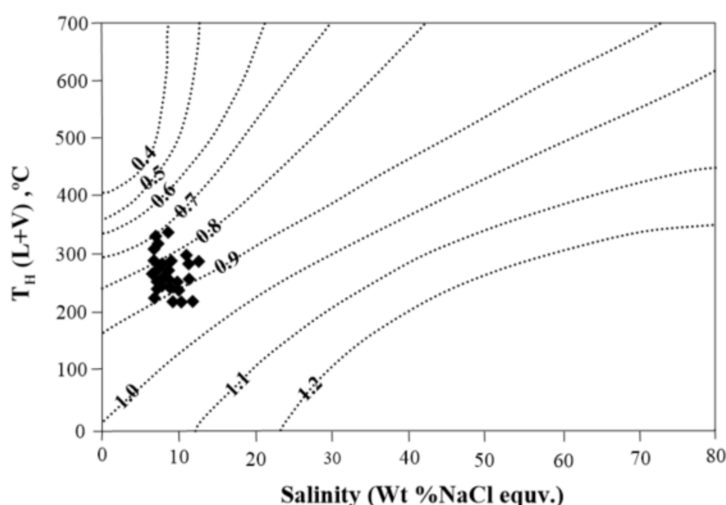
بررسی یافته‌های ریزدماسنجی

برآورد فشار و شرایط زمان بدام افتادن: شواهد صحرایی (ساخت و بافت برشی)، کانی‌شناسی (رخداد آدولاریا) و میانبارهای سیال (هم‌زیستی میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع و تک‌فازی گاز) نشان‌دهنده رخداد فرآیند جوشش در زمان کانه‌زایی سولفیدی و طلا در منطقه قره‌چای بوده و از اینرو نیازی به تصحیح فشار برای دماهای همگنی به دست آمده نیست [۱۹]. به منظور تعیین فشار سیال در زمان بدام افتادن میانبارهای سیال از نمودار شوری نسبت به دمای همگنی (شکل ۷) استفاده شد [۲۰]. چنان که در این نمودار دیده می‌شود، کمترین فشارهای سیال محاسبه شده در زمان همگن شدگی میانبارهای سیال (درون بلورهای کوارتز) منطقه قره‌چای به طور تقریبی در گستره ۴۰ تا ۱۴۰ bar هستند.

تعیین چگالی سیال: بر پایه مقادیر دمای همگن‌شدگی و شوری میانبارهای سیال می‌توان چگالی سیال را در زمان بدام افتادن تعیین کرد [۲۱]. رسم یافته‌های ریزدماسنجی منطقه قره‌چای بر روی نمودار دو متغیره دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری ارائه شده در مرجع [۲۲] نشان می‌دهد که چگالی بیشتر نمونه‌ها در گستره ۰٫۷ تا ۰٫۹۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بوده و بیشترین تمرکز آنها از ۰٫۸ تا ۰٫۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب است (شکل ۸).

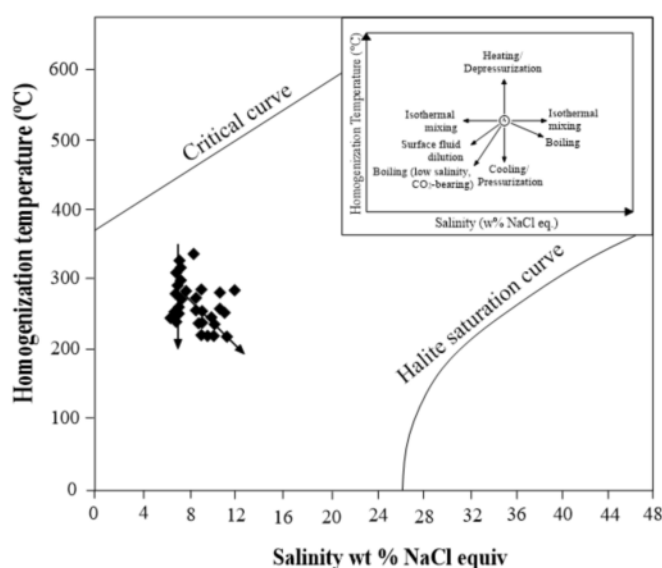


شکل ۷ نمودار دومتغیره دمای همگنی نسبت به شوری [۲۰] که در آن، الگوی توزیع یافته‌های مربوط به میانبارهای سیال منطقه قره‌چای با منحنی‌های بحرانی و اشباع هالیت مقایسه شده است.



شکل ۸ نمودار دومتغیره دمای همگنی نسبت به شوری [۲۲] که براساس آن، میانبارهای سیال منطقه قره‌چای چگالی‌هایی در گستره ۰٫۷ تا ۰٫۹۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب را نشان می‌دهند.

عمق و روند تکاملی سیال‌های کانه‌ساز: برای تعیین روند تکاملی سیال‌های کانه‌ساز در منطقه قره‌چای، آرایه نقاط مربوط به یافته‌های دمای همگنی نسبت به شوری منطقه قره‌چای با روندهای خطی طرحوار ارائه شده با مختصات مشابه در مرجع [۲۲] مطابقت داده شد (شکل ۹). بر این اساس، به احتمال بسیار دو فرایند سرد شدن ساده و جوشش مهمترین فرآیندهای فیزیکی در نهشت کانی‌های کانسنگی و باطله در منطقه قره‌چای بوده‌اند. با توجه به شکل ۹ به نظر می‌رسد که محلول گرمابی نخست تا دماهای حدود ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد و شوری‌های حدود ۶٪ وزنی معادل نمک طعام، در عرض فشارهای سنگ ایستایی بوده است. سپس در دماهای کمتر از ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد، سیال فرآیند جوشش را تجربه کرده و دمای آن تا حدی کاهش یافته ولی در عوض، شوری آن تا حدود دو برابر افزایش یافته است. طی فرآیند جوشش، محلول گرمابی به قطع فشار هیدرواستاتیکی را تجربه می‌کرده است. با در نظر گرفتن رخداد جوشش در دماهای حدود ۲۵۰ درجه سانتیگراد، فشاری را که در این زمان سیال کانه‌ساز تحمل می‌کرده از نوع هیدرواستاتیک و حدود ۵۰ bar بوده است. از اینرو می‌توان گفت که میانبارهای سیال بررسی شده در منطقه قره‌چای در عمقی حدود ۵۰۰ متری زیر سطح پهنه هوادار به تله افتاده‌اند.

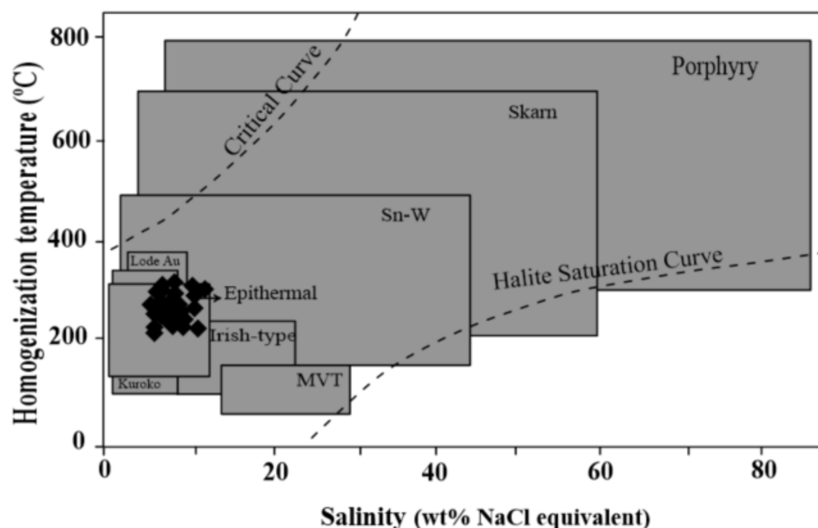


شکل ۹ نمودار دومتغیره دمای همگنی نسبت به شوری [۲۲،۲۰] که در آن، روندهای تکاملی سیال‌های کانه‌ساز در منطقه قره‌چای نشان داده شده‌اند. بر این اساس، فرآیندهای جوشش و سردشدن ساده مهمترین ساز و کارهای مؤثر در نهشت کانسنگ‌ها بوده‌اند.

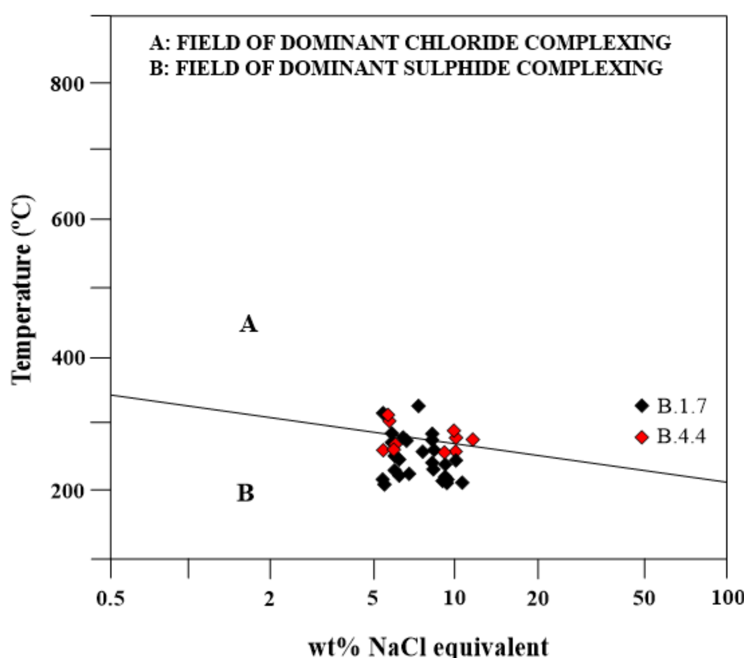
[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.7.4]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.97]

تعیین خاستگاه احتمالی سیال‌های کانه‌ساز: در نمودار دومتغیره دمای همگنی نسبت به شوری [۲۲]، یافته‌های ریزدماسنجی قره‌چای بیشتر در گستره کانه‌زایی نوع فراگرمایی قرار دارند (شکل ۱۰).

تعیین نوع لیگاندهای کمپلکس‌کننده احتمالی: برای تعیین نوع لیگاندهای کمپلکس‌کننده مؤثر در حمل فلزات در محلول‌های کانه‌ساز از نمودار دومتغیره شوری نسبت به دمای همگنی [۲۳] (شکل ۱۱) استفاده شد. بر این اساس، کمپلکس‌های کلریدی و سولفیدی هر دو در حمل فلزات در رگه- رگچه‌های سیلیسی منطقه قره‌چای نقش داشته‌اند که در این میان، به ظاهر سهم کمپلکس‌های سولفیدی در حمل فلزات کانسنگی بیشتر بوده است.



شکل ۱۰ نمودار دو متغیره دمای همگن شدگی نسبت به شوری [۲۲] که در آن، یافته‌های میانبارهای سیال منطقه قره‌چای بیشتر در گستره فراگرمایی قرار دارند.



شکل ۱۱ نمودار دومتغیره شوری نسبت به دمای همگنی [۲۳] که براساس جایگاه یافته‌های ریزدماسنجی قره‌چای در آن، لیگاندهای کمپلکس‌کننده سولفیدی و کلریدی همزمان در حمل فلزات کانسنگی در محلول‌های گرمابی کانه‌ساز نقش داشته‌اند.

برداشت

مهمترین نتایجی که از بررسی‌های سنگ‌نگاری پهنه‌های دگرسانی و کانه‌زایی و بررسی‌های ریزدماسنجی در منطقه قره‌چای به دست آمده‌اند به قرار زیرند:

۱- نفوذ و جایگیری توده گرانیتی– گرانیتی قلیایی (ائوسن پسین- الیگوسن) به درون سنگ‌های آتشفشانی (ائوسن) منجر به پیدایش و مهاجرت محلول‌های گرمابی درونزاد از درون پهنه‌های بِرشی و خرد شده ساختاری متخلخل و نفوذپذیر شده است.

۲- محلول‌های گرمابی درونزاد سبب تشکیل رگه- رگچه‌های متقاطع سیلیسی و کربناتی در دوره‌های مختلف شده‌اند.

۳- چند پهنه دگرسانی مختلف از جمله سیلیسی، فیلی، فیلی- آرژیلی رسی و پروپیلیتی بصورت هاله‌های باریک تا ضخیم در سنگ‌های دیواره پیرامون رگه- رگچه‌ها گسترش یافته‌اند.

۴- کانه‌زایی سولفیدی و طلای درونزاد بصورت رگه- رگچه‌ای، داربستی و پرکننده فضاهای خالی رخ داده و تنها به رگه- رگچه‌های سیلیسی مرحله پسین محدود است.

۵- یافته‌های ریزدماسنجی نشان دادند که دمای همگنی و شوری سیال‌های کانه‌ساز در زمان نهشت کانه‌ها به ترتیب در گستره ۲۰۰ تا ۳۴۰ درجه سانتی‌گراد و ۶٫۲ تا ۱۱٫۷ درصد وزنی معادل نمک طعام بوده‌اند.

۶- مقادیر دما و شوری میانبارهای سیال نشان دادند که سیال‌های کانه‌ساز در دماهای حدود ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد در عمق حدود ۵۰۰ متری زیر سطح سفره آبدار دستخوش جوشش شده‌اند.

۷- از ترکیب یافته‌های ریزدماسنجی و نتایج بررسی‌های سنگ‌نگاری (کانی‌شناسی و کانه‌نگاری) مقاطع نازک- صیقلی مشخص شد که سیال‌های کانه‌ساز از نوع فراگرمایی سولفیداسیون پائین با چگالی‌های بیشتر بین ۰٫۸ تا ۰٫۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب بوده‌اند و فلزات کانسنگی را همزمان به صورت کمپلکس‌های سولفیدی و کلریدی حمل می‌کرده‌اند.

قدردانی

نگارندگان از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه تبریز برخوردار بوده‌اند، که سپاس و قدردانی خود را از مسئولین این معاونت ابراز می‌دارند. نگارندگان همچنین از آقای دکتر حاج‌علیلو از اساتید محترم گروه زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور مرکز تبریز برای کمک‌های فراوان ایشان از جمله در اختیار قرار دادن همه امکانات آزمایشگاهی خود برای بررسی‌های میکروسکوپی و ریزدماسنجی میانبارهای سیال سپاسگزاری می‌نمایند. در آخر، نگارندگان از نظرات و پیشنهادات سازنده و ارزنده داوران محترم تشکر می‌نمایند.

مراجع

[1] Aghanabati A., *"Geology of Iran (in Persian)"*, Geological Survey of Iran (2004) 586p.

[2] Behrouzi A., Amini Fazl A., Amini Azar R., Emami M.H., Ezzatian F., Davari M., Hadavi F., Partoazar H., *"Geological map of the Bostanabad (1:100000 scale) (in Persian)"*, Geological Survey of Iran (1997).

[3] Maghsoudi A., Rahmani M., Rashidi B., *"Gold deposits and indications of Iran (in Persian)"*, Arian Zamin publication (2004) 364p.

[4] Abedini A., Calagari A.A., Naseri H., *"Mineralization and REE geochemistry of hydrothermal quartz and calcite of the Helmesi vein-type copper deposit, NW Iran"*, Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen 281 (2) (2016) 123-134.

[5] Miranvari A.S., Calagari A.A., Siahcheshm K., Sohrabi G., *"Geochemical study of alteration zones around Au-bearing silicic veins at Zailic, East of Ahar, East- Azarbaidjan Province (in Persian)"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 27 (2) (2019) 347-360.

[6] Yousefi T., Abedini A., Aliyari F., Calagari A.A., *"Mineralogy and fluid inclusion investigations in the Zarshuran gold deposit, north of Takab, NW Iran (in Persian)"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 27 (3) (2019) 537-550.

[7] Hafez Darbani M., Abedini A., Aliyari F., Calagari A.A., *"Mineral chemistry of magnetite and fluid inclusions studies in the Kuh-Baba iron deposit, south of Hashtroud, NW Iran (in Persian)"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 27 (4) (2020) 755-766.

[8] Sohrabi G., Rezaei Aghdam M., Lotfi Bakhsh A., *"Epithermal Au-Ag mineralization in the south of Tikmeh Dash-East Azarbaijan (in Persian)"*, 35th National Geosciences Congress (2017).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.7.4]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.97]

[9] Whitney D.L., Evans B.W., *"Abbreviations for names of rock-forming minerals"*, American Mineralogist 95 (2010) 185-187.
[10] Robert F., Poulen K.H., Dube B., *"Gold deposits and their geological classification"*, Proceeding of exploration 97: Fourth decennial International conference on mineral exploration (1997) 209-220.
[11] Robert F., Brommecker R., Bourne B.T., Dobak P.J., McEwan C.J., Rowe R.R., Zhou X., *"Models and exploration methods for major gold deposit types"*, Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration (2007) 691-711.
[12] Hedenquist J.W., Izawa E., Arribas A., White N.C., *"Hydrothermal system in volcanic arcs, origin of the exploration for epithermal gold deposits"*, a short course at Mineral Resource Department, Geological Survey of Japan, Higashi 1-1-3, Tsukuba 305, Japan (1996).
[13] Sillitoe R.H., Hedenquist J.W., *"Linkages between volcano-tectonic settings, ore-fluid compositions and epithermal precious metal deposits"*, Economic Geology 10 (2003) 315-343.
[14] Miranvari A.S., Calagari A.A., Siahcheshm K., Sohrabi G., *"Investigation of genesis and fluid origin in Noghduz gold bearing quartz veins, East Azarbaijan Province, northwest of Iran (in Persian)"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 27 (3) (2019) 551-564.
[15] White N.C., Hedenquist J.W., *"Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration"*, Society of Economic Geologists Newsletter 23(1) (1995) 9–13.
[16] Simmons S.F., White N.C., John D.A., *"Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits"*, 100th Anniversary Volume, Economic Geology (2005) 485–522.
[17] Borisenko A.S., *"Study of the salt composition of solutions in gas-liquid inclusions in minerals by the cryometric method"*, Soviet Geol. Geophys 18 (1977) 11-19.
[18] Bodnar R.J., *"Introduction to fluid inclusion—Fluid inclusions analysis and interpretation"*, Mineralogical Association of Canada, Short Course Series 32 (2003) 81-99.
[19] Roedder E., Bodnar R.J., *"Geologic pressure determinations from fluid inclusion studies"*, Earth and Planetary Sciences 8 (1980) 263-301.
[20] Shepherd T.J., Rankin A.H., Alderton D.H., *"A practical guide to fluid inclusion studies"*, Blackie, Glasgow (1985) 239p.
[21] Bodnar R.J., *"A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and PVTX properties of inclusion fluid"*, Economic Geology 78 (1983) 535-542.
[22] Wilkinson J.J., *"Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits"*, Lithos 55 (2001) 229-272.
[23] Pirajno F., *"Hydrothermal processes and mineral systems"*, Springer Science, New York (2009) 1273p.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.7.4]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.97]